

Е. В. Ханькова*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**xbxekaterina@yandex.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *Ю. Н. Логинов*

УПРАВЛЕНИЕ МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ МАТЕРИАЛОВ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА ИМПЛАНТОВ

Выполнен поиск технических решений, направленных на производство имплантов из титановых сплавов. Выявлено, что важными характеристиками являются упругость, прочность, инертность к внешнему воздействию. Для снижения модуля упругости применяются приемы изменения кристаллической решетки и управления пористостью. Для изготовления пористых материалов применяются методы аддитивных технологий.

Ключевые слова: импланты, титановые сплавы, модуль упругости.

Е. V. Khanykova

MANAGING MODULUS OF ELASTICITY OF THE MATERIALS IN THE PRODUCTION OF IMPLANTS

Search for technical solutions aimed at the production of implants made of titanium alloys is executed. It was revealed that the important characteristics are elasticity, strength, inertness to external influence. To reduce the modulus of the crystal lattice changes techniques and porosity control are applied. For the production of porous materials additive technology methods are used.

Keywords: implants, titanium alloys, module of elasticity.

В утвержденном Президентом России списке приоритетных направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации под номером четыре существует формулировка «Науки о жизни», а в перечень критических технологий Российской Федерации включен пункт номер 10 – технологии биоинженерии.

В области биоинженерии промышленность имплантов занимает все большее жизненное пространство. Ее достижения позволяют продлить активную жизнь человека, а также «ремонттировать» его организм по мере возникновения его поломок.

В качестве материалов, позволяющих осуществлять замену отдельных деталей и узлов организма, часто применяют металлы и сплавы. На одном из первых мест в списке таких материалов стоят титановые

сплавы, что обусловлено их химической инертностью к внешнему воздействию, высоким уровнем прочности.

С позиции лучшей демпфируемости и сопротивления ударам предпочтительно использовать материалы с малым модулем упругости. Например, в статье [1] рассматривается класс титановых сплавов и предпочтение отдается β -титановым сплавам, у которых модуль упругости оказывается пониженным до 80 ГПа по отношению к α - и $(\alpha+\beta)$ -сплавам (90–115 ГПа). Вместе с тем не исключается возможность управления модулем упругости за счет управления текстурообразованием, что отмечается в статье [2] применительно к чистой меди.

Для создания имплантов все чаще применяют методы аддитивных технологий, в том числе 3D-печать. Она представляет собой построение реального объекта по созданному на компьютере образцу 3D-модели. Затем цифровая трехмерная модель сохраняется в формате STL-файла, после чего 3D-принте, на который выводится файл для печати, формирует реальное изделие. В основу принципа работы 3D-принтера заложен принцип постепенного (послойного) создания твердой модели, которая как бы «выращивается» из определенного материала.

В этой технологии находит применение и титан [3]. На рис. 1 показана регулярная структура слоя спеченного порошка титана марки *Grade 1* с размерами 38–45 мкм после 3D-печати и последующего спекания.

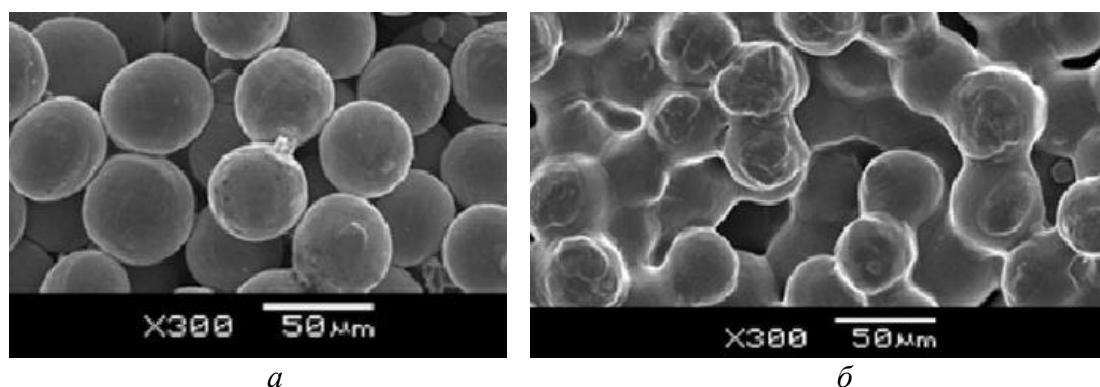


Рис. 1. Создание пористых структур из порошка титана марки *Grade 1* [4] при температуре процесса спекания:
a – 800 °C, *б* – 1400 °C

Спекание осуществлялось при различных температурах, что позволило установить влияние теплового воздействия на образование связей между частицами. Как видно из рисунка, спекание при температуре 1400 °C в сравнении с 800 °C привело к развитию связей между частицами и частичному их слиянию, в результате промежутки между частицами увеличились.

Приведенная картина взаимодействия частиц порошка показывает, что в результате процесса может получаться материал с высокой степенью пористости, что является благоприятным фактором для создания конструкций имплантов различного назначения.

Наличие пористости приводит к изменению физических и механических свойств материала, что приходится учитывать в расчетах на прочность. Если для компактных сред модуль упругости материала имеет возможность изменяться для данного материала максимум на десятки процентов, то для пористой среды этот диапазон становится значительно шире. Например, по данным работы [4] для порошковых сред из титана он составит 0,8–11,5 ГПа при номинальном значении для самого титана около 112 ГПа.

Из числа механических характеристик на следующем месте стоит характеристика прочности. Для пористых сред предпочтительным видом испытания на прочность является осадка образцов [5] как метод нагружения под действием напряжений сжатия, а не растяжения, как это принято в стандартных тестах. Действительно, этот метод испытания взят на вооружение: диапазон прочности на сжатие для спеченного порошка титана в виде слоев, полученных аддитивными технологиями, составляет 27–383 МПа. Такой широкий диапазон позволяет выбрать необходимую величину, ориентируясь на соответствующую плотность материала.

Импланты для ортопедии с большей, чем у чистого титана прочностью и регулируемой структурой, получают из титанового порошка типа ВТ6 [6] с соответствующей термической обработкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Biomedical titanium alloys with Young's moduli close to that of cortical bone / Mitsuo Niinomi [et al.] // *Regenerative Biomaterials*. Oxford : Oxford University Press, 2016. P. 1–13.
2. Unusual Young's modulus behavior in ultrafine-grained and microcrystalline copper wires caused by texture changes during processing and annealing / P. P. Pal-Val [et al.] // *Materials Science and Engineering: A*. 2014. Vol. 618. P. 9–15.
3. Полькин И. С. Аддитивные технологии титановых сплавов // *Технология легких сплавов*. 2015. № 3. С. 11–16.
4. Basalah A., Esmaeili S., Toyserkani E. On the influence of sintering protocols and layer thickness on the physical and mechanical properties of additive manufactured titanium porous bio-structures // *Journal of Materials Processing Technology*. 2016. Vol. 238. P. 341–351.
5. Логинов Ю. Н. Исследование процессов деформации некомпактных материалов с особыми реологическими свойствами: дис. ... д-ра техн. наук : защищена 14.03.2003. Екатеринбург : УГТУ, 2002. 394 с.

6. Hierarchical Micropore/Nanorod Apatite Hybrids In-Situ Grown from 3-D Printed Macroporous Ti6Al4V Implants with Improved Bioactivity and Osseointegration [Электрон. ресурс] / Peng Xiu [et al.] // Journal of Materials Science & Technology. 2016, 1 June (available online). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1005030216300718> (дата обращения 20.10.2016).